

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication : 2 768 566

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : 97 11374

(51) Int Cl<sup>6</sup> : H 01 S 3/085

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 12.09.97.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 19.03.99 Bulletin 99/11.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

(60) Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

(71) Demandeur(s) : FRANCE TELECOM SOCIETE ANO-  
NYME — FR et CENTRE NATIONAL DE LA RECHER-  
CHE SCIENTIFIQUE CNRS — FR.

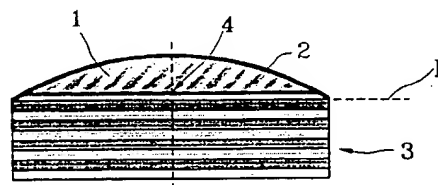
(72) Inventeur(s) : ABRAM IZO, BOURDON GUILLAUME  
et GRANGIER PHILIPPE.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : REGIMBEAU.

(54) COMPOSANTS PRESENTANT UNE CAVITE OPTIQUE DEFINIE PAR AU MOINS UN MIROIR COURBE.

(57) Composant optique, optoélectronique ou photonique  
comportant au moins un résonateur (1) défini entre un miroir  
plan et un miroir présentant un plan focal (F), caractérisé en  
ce que ledit miroir plan (3) est disposé audit plan focal (F).



FR 2 768 566 - A1



La présente invention est relative aux composants présentant une cavité optique définie par au moins un miroir courbe.

Plus particulièrement, l'invention concerne des  
5 composants optiques, optoélectroniques ou photoniques, constitués de résonateurs optiques de dimensions typiques de l'ordre de quelques fois la longueur d'onde optique et délimités par des miroirs courbes de grande ouverture. Les résonateurs peuvent être réalisés seuls ou sous forme  
10 matricielle. L'inclusion de matériaux de propriétés optiques et électroniques adéquates dans ces résonateurs permet la mise en oeuvre de composants spécifiques, tels que des diodes électroluminescentes, des lasers, des photodétecteurs, des éléments de mémoire, de commutation  
15 ou de logique optique. Ces composants sont utilisables en optique et optoélectronique intégrée, et particulièrement pour l'émission, la détection ou le traitement de signaux optiques, par exemple dans les télécommunications, ou bien pour l'affichage lumineux des données numériques.

20

#### PRESENTATION DE L'ART ANTERIEUR

Le fonctionnement de plusieurs composants optiques et optoélectroniques nécessite une cavité optique constituée généralement par deux surfaces planes  
25 réfléchissantes, mutuellement parallèles. Cette configuration géométrique renforce le champ lumineux à l'intérieur de la cavité, à cause de son confinement unidimensionnel entre les deux surfaces réfléchissantes. La cavité optique est indispensable, en particulier au  
30 fonctionnement des lasers ou des bistables optiques, alors que d'autres composants, pouvant fonctionner sans cavité, tels que les diodes électroluminescentes (DEL) ou les photodétecteurs, voient leurs performances améliorées lorsqu'ils sont placés à l'intérieur d'une cavité  
35 optique.

A titre d'exemple représentatif de composants optoélectroniques mettant en jeu une cavité optique, citons les diodes électroluminescentes à cavité résonante (DELCCR). De tels composants sont décrits dans l'article :  
5 "High Efficiency Planar Microcavity LEDs" par H. DeNeve et al. - IEEE Photonics Technology Letters Vol. 7, No. ", pages 287-289 (mars 1995).

Ces composants consistent en un empilement de trois groupes de couches minces, déposées par les  
10 méthodes classiques de croissance cristalline sur un substrat semi-conducteur. Le premier groupe de couches déposé sur le substrat constitue un miroir de Bragg, le second réalise la cavité résonante, alors que le troisième correspond à une couche métallique qui  
15 constitue le miroir supérieur de la cavité. Les miroirs des deux groupes extrêmes servent à confiner, à renforcer et à rendre directive la lumière qui est émise par des couches actives, situées dans le deuxième groupe, lorsque celles-ci sont excitées électriquement ou optiquement. La  
20 lumière émise sort vers l'extérieur, perpendiculairement au plan de la cavité, à travers le miroir de Bragg inférieur et à travers le substrat. L'utilisation d'une cavité résonante améliore considérablement le fonctionnement des diodes électroluminescentes, par  
25 rapport à la configuration classique sans cavité. Le rendement lumineux d'une diode électroluminescente classique n'est que de 2 à 4 pour cent de la puissance injectée, à cause du caractère omnidirectionnel de l'émission spontanée de la lumière, alors que dans les  
30 DELCCR ce rendement peut atteindre 20 %, avec une émission relativement directive qui peut, par la suite, être introduite dans une fibre optique.

L'utilisation d'une cavité planaire a été adoptée en optoélectronique pour des raisons de facilité de  
35 fabrication. En effet, la constitution d'une cavité délimitée par deux miroirs plans parallèles se prête bien

à la structure des semi-conducteurs cristallins et aux méthodes de croissance cristalline épitaxiale utilisées couramment pour la fabrication de composants optoélectroniques. En particulier, le clivage des plaquettes cristallines de semi-conducteur produit des facettes planes réfléchissantes, donnant lieu à des cavités dites "horizontales", alors que la croissance cristalline épitaxiale produit des plaquettes de semi-conducteur constituées d'empilements de couches minces planes, donnant lieu à des cavités dites "verticales". Toutefois, la géométrie planaire présente certains désavantages en optique, car elle produit des résonateurs instables : dans une cavité planaire, chaque direction spatiale correspond à une fréquence de résonance différente. Ceci implique d'une part que la lumière issue de la cavité dans différentes directions comporte de longueurs d'onde (ou de couleurs) différentes et, d'autre part, que le confinement de la lumière et le renforcement du champ électromagnétique ne sont possibles que pour les ondes dont la propagation est dirigée perpendiculairement aux deux miroirs. Un paquet d'ondes se propageant selon une direction "oblique" ne revient pas à son point d'origine après réflexion sur les deux miroirs de la cavité, mais s'éloigne davantage après chaque réflexion. Ceci implique que le champ lumineux sur le site de l'émetteur n'est renforcé que faiblement par la présence des miroirs de la cavité et, par conséquent, le processus d'émission lumineuse spontanée est très faiblement modifié dans les cavités planaires, par rapport à la situation sans cavité résonante.

Pour pallier ces inconvénients, des microrésonateurs comportant un miroir de Bragg (multicouches) hémisphérique ont été proposés. Ces propositions sont explicitées par exemple dans le brevet

- "Semiconductor laser device with multi-directional reflector arranged therein" US 5 432 812 publié le 11 juillet 1995 - A. Kurobe et al,  
ou dans l'article
- 5 - "Low-threshold operation of hemispherical microcavity single-quantum-well lasers at 4K" par F. Matinaga et al - Applied Physics Letters, Vol. 62, No. 5, Pages 443-445 (feb. 1993).

Toutefois, ces propositions exploitent la multi-  
10 directionnalité du miroir courbe qui permettrait de capter une grande partie de l'émission multi-directionnelle de la couche active, et ne visent pas le renforcement du champ lumineux sur le site de l'émetteur, ce qui est le propre de la configuration semi-confocale. De plus,  
15 l'utilisation de miroirs multicouches restreint l'utilité du réflecteur sphérique, car ces miroirs présentent une bonne réflectivité uniquement au voisinage de l'incidence normale. En particulier, des miroirs multicouches composés en GaAs et AlAs ne sont plus réfléchissants pour  
20 des angles d'incidence supérieurs à 17 degrés. Leur efficacité est donc réduite à seulement 10 % des angles solides.

#### PRESENTATION DE L'INVENTION

25 Le but de l'invention est de réaliser des composants basés sur des cavités optiques non-planaires, mettant en jeu un miroir métallique courbe de grande ouverture, et exploitant les propriétés de la géométrie semi-confocale, afin de produire un renforcement  
30 important du champ électromagnétique dans ces cavités.

La structure proposée par l'invention permet un couplage renforcé entre le rayonnement lumineux et le matériau actif contenu dans la cavité et conduit à une efficacité accrue dans le fonctionnement des composants  
35 basés sur le principe proposé. En particulier, dans les

composants émissifs tels que les diodes électroluminescentes, l'efficacité énergétique, l'intensité et la directivité de l'émission spontanée de lumière par le matériau actif doivent être supérieures à celle des composants actuels, alors que pour les composants absorbants, tels que les photodiodes, le renforcement du couplage radiatif doit produire une absorption plus forte et une augmentation de la sensibilité du photo-détecteur.

Plus particulièrement, l'invention propose un composant optique, optoélectronique ou photonique comportant au moins un résonateur défini entre un miroir plan et un miroir présentant un plan focal, caractérisé en ce que ledit miroir plan est disposé audit plan focal.

Dans le résonateur d'un tel composant, tout rayon émanant d'un point situé sur le plan focal et se propageant sur une direction arbitraire revient sur son point d'origine après un nombre paire de réflexions sur le miroir concave. Une onde lumineuse suivant la trajectoire de ce rayon produit des phénomènes d'interférence qui peuvent conduire à un renforcement important du champ lumineux. Ceci implique qu'un système matériel placé sur les régions du résonateur où le champ se trouve renforcé verra son couplage avec le champ lumineux augmenté d'un facteur très important, et par conséquent toute émission ou absorption de lumière par ce matériau sera beaucoup plus efficace. Cette augmentation du champ lumineux est d'autant plus importante que le miroir concave a une grande ouverture.

Une caractéristique importante de la configuration semi-confocale décrite ci-dessus est que, à proximité du miroir plan, le front des ondes lumineuses maintenues par la cavité est également plan. Ceci implique que, si ce miroir plan est semi-transparent, la lumière qui sort de la cavité à travers ce miroir possède un front d'onde plan et, pour certains modes, peut

constituer donc un faisceau parallèle à l'extérieur de la cavité, avec une divergence imposée par la diffraction due aux faibles dimensions du résonateur.

Avantageusement également, le résonateur comprend  
5 une structure à puits quantiques disposée à proximité du plan focal.

#### DESCRIPTION DE L'INVENTION

D'autres caractéristiques et avantages de  
10 l'invention ressortiront encore de la description qui suit qui est purement illustrative et non limitative et doit être lue en regard de la figure unique annexée sur laquelle on a représenté en coupe un composant conforme à un mode de réalisation possible de l'invention.

15 Le composant illustré sur cette figure comporte un résonateur 1 délimité d'un côté par un miroir concave métallique 2, en forme de dôme parabolique et de l'autre côté par un miroir plan 3, disposé en face du miroir concave 2 de telle façon que le plan focal F du miroir  
20 parabolique 2 coïncide avec la surface réfléchissante du miroir plan 3.

Pour une longueur d'onde de fonctionnement de 960 nm, le corps de ce résonateur 1 est par exemple en un semi-conducteur tel que l'arséniure de gallium.

25 Le miroir plan 3 est un miroir de Bragg constituée par une alternance de couches minces de deux matériaux d'indice de réfraction différent.

Avec une telle structure, on constate que les modes optiques du résonateur 1 présentent un renforcement  
30 important du champ lumineux à proximité du plan focal F. Les inventeurs ont notamment calculé la distribution spatiale dans la cavité de l'intensité lumineuse du mode optique TE dans le cas d'un dôme parabolique 2 présentant une distance focale de 1.8 micromètres et un diamètre à  
35 la base du dôme parabolique 7,2 micromètres. Ces calculs ont permis de constater que pour certains modes

l'amplitude du champ lumineux est concentrée près du plan focal et atteint une valeur grande limitée par la réflectivité des miroirs.

Dans l'exemple illustré sur la figure 1, le résonateur 1 comporte également une structure 4 à puits quantiques en arséniure d'indium (13 %) et de gallium (87 %), dont la bande interdite correspond à une longueur d'onde de 960 nm, égale à la longueur d'onde de fonctionnement du résonateur 1.

Cette structure 4 est disposée dans une région du résonateur 1 où le champ présente un renforcement important. En particulier, elle est disposée à proximité du plan focal F du miroir concave, c'est à dire dans la zone où le champ diverge. A cause du renforcement important du champ lumineux à l'intérieur du résonateur, le couplage du puits quantique avec le rayonnement lumineux à la longueur d'onde de 960 nm est renforcé. Ceci accroît considérablement l'efficacité de fonctionnement du composant optoélectronique présentant une structure du type de celle décrite ci-dessus.

On notera notamment qu'un composant comportant une structure à puits quantique près du plan focal d'une cavité semi-confocale et fonctionnant comme diode électroluminescente présente une augmentation importante de l'intensité lumineuse produite par le semi-conducteur ainsi qu'une augmentation de la fraction de lumière qui est extraite du composant, alors qu'un composant fonctionnant comme laser voit un abaissement important de l'énergie requise pour franchir le seuil d'émission stimulée.

Egalement, un composant fonctionnant comme photodétecteur présente une augmentation de sensibilité très importante, due au renforcement du champ dans la cavité.

Par ailleurs, on notera que pour un composant optoélectronique, le miroir métallique concave peut



servir également de première électrode, alors que la seconde électrode peut être réalisée en dopant le miroir de Bragg plan.

Si le miroir plan est semi-transparent, la  
5 lumière produite dans le résonateur peut sortir à travers ce miroir. Dans ce cas, elle a la forme d'un faisceau parallèle et directif (comme le faisceau des phares d'une voiture), avant de diverger à cause de la diffraction due à son diamètre fini. Un tel faisceau peut être couplé à  
10 une fibre optique placée en face du composant.

Si la partie supérieure du dôme est semi-transparent, la sortie de la lumière peut s'effectuer à travers cette partie du dôme de la cavité. Dans ce cas, l'émission du résonateur présente une grande divergence,  
15 qui peut être mis à profit pour des applications d'affichage lumineux, visualisation ou éclairage.

Finalement, si la partie semi-transparente du dôme se situe près de sa base, à proximité de la jonction avec le miroir plan, les modes optiques du résonateur qui  
20 sont couplés vers l'extérieur sont les modes dits de galerie correspondant à la circulation de lumière à l'intérieur du résonateur tout le long de sa circonférence. Dans ce cas, la lumière issue du résonateur se dirige parallèlement au miroir plan, et  
25 cette configuration peut être avantageusement utilisée en photonique pour la constitution de circuits optiques intégrés.

D'autres variantes de géométrie sont possibles pour le composant selon l'invention. Notamment, d'autres  
30 formes de miroir concave sont envisageables (telle que des miroirs sphériques, elliptiques, coniques ou en forme de cône tronqué). On peut également envisager d'utiliser des miroirs constitués en zones de Fresnel reproduisant la structure du front de phase d'un miroir concave.

35 Par ailleurs, on peut envisager de remplacer le miroir plan par des miroirs métalliques, des miroirs de

Bragg en semi-conducteur, en semi-conducteur oxydé ou en diélectrique.

On va maintenant décrire la fabrication d'un composant conforme à un mode de réalisation possible dans le cas d'une structure réalisée à partir de deux semi-conducteurs communément utilisés pour la réalisation de composants électroniques et optoélectroniques, à savoir GaAs et AlAs. L'utilisation de couples de matériaux de plus fort contraste d'indice de réfraction (par exemple par oxydation du AlAs pour produire de l'oxyde d'aluminium) est bien entendu envisageable et produirait un meilleur confinement du champ dans la cavité.

On réalise dans un premier temps un premier empilement constitué d'une alternance de  $N+1$  couches de AlAs et  $N$  couches de GaAs d'épaisseur 81,1 nm et 67,8 nm respectivement, correspondant à un miroir de Bragg dont la bande de réflectivité est centrée à la longueur d'onde de 960 nm, en utilisant les méthodes habituelles de croissance cristalline de ces semi-conducteurs sur substrat de GaAs (épitaxie par jet moléculaire ou déposition de composés organométalliques en phase vapeur). Ce premier empilement correspond au miroir plan 3.

Puis, en utilisant les mêmes techniques, on dépose sur ce premier empilement un deuxième empilement constitué d'une couche de GaAs d'épaisseur 1810 nm, comprenant un puits quantique en  $\text{In}_{0,11}\text{Ga}_{0,89}\text{As}$  disposé à une distance de l'ordre de 10 nm de la dernière couche de AlAs du miroir de Bragg.

Egalement, une couche de  $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$  d'épaisseur 20 nm pourrait être incorporée à une distance de 10 nm du puits quantique afin de faciliter le confinement des porteurs de charge électrique dans le puits quantique.

Après fabrication de cette structure, un ou plusieurs dômes paraboliques sont gravés dans la couche de GaAs, par faisceau d'ions focalisé. Plus

particulièrement, on érode la couche de GaAs par un faisceau d'ions focalisé sur une tache de l'ordre de 30 nm à l'aide de lentilles électrostatiques. En balayant le faisceau sur la surface de la couche de GaAs en en  
5 faisant varier la dose d'ions, il est possible de graver dans le semi-conducteur une forme tridimensionnelle, telle qu'un dôme parabolique. Une matrice de plusieurs composants peut être réalisée en répétant cette gravure sur différents points de la structure stratifiée.

10 Par la suite, le dôme parabolique (ou la matrice de dômes) est recouvert d'une couche de métal à forte réflectivité tel que l'argent ou l'or. Dans cette configuration, la lumière produite par le puits quantique peut sortir du composant à travers le miroir de Bragg et  
15 le substrat sur lequel le miroir est déposé.

REVENDEICATIONS

1. Composant optique, optoélectronique ou  
photonique comportant au moins un résonateur (1) défini  
5 entre un miroir plan et un miroir présentant un plan  
focal (F), caractérisé en ce que ledit miroir plan (3)  
est disposé audit plan focal (F).

2. Composant selon la revendication 1,  
caractérisé en ce que le résonateur (1) comprend une  
10 structure à puits quantiques disposée à proximité du plan  
focal (F).

3. Composant selon la revendication 1,  
caractérisé en ce que le miroir plan (3) est semi  
transparent.

15 4. Composant selon la revendication 1,  
caractérisé en ce que le miroir (2) à plan focal (F) est  
semi transparent.

5. Composant selon la revendication 4,  
caractérisé en ce que le miroir (2) à plan focal (F) est  
20 concave et en ce qu'il présente une zone semi-  
transparente dans sa région éloignée du miroir plan (3).

6. Composant selon la revendication 5,  
caractérisé en ce que le miroir (2) à plan focal (F) est  
concave et en ce qu'il présente une zone semi-  
25 transparente à proximité du miroir plan (3).

7. Composant selon l'une des revendications  
précédentes, caractérisé en ce que le miroir plan (3) est  
un miroir de Bragg.

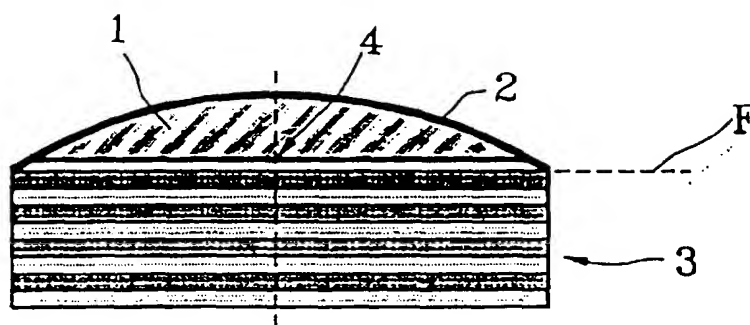
8. Composant optoélectronique selon l'une des  
30 revendications précédentes, caractérisé en ce que le  
miroir (2) à plan focal (F) est concave et est défini par  
un dépôt métallique sur sa surface externe et en ce que  
ce dépôt métallique sert d'électrode.

9. Composant optoélectronique selon les  
35 revendications 7 et 8 prises en combinaison, caractérisé

en ce que le miroir de Bragg plan est dopé et constitue une deuxième électrode.

1/1

FIG. 1



REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

2768566

N° d'enregistrement  
national

FA 546778  
FR 9711374

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	BELANGER P A ET AL: "SUPER-GAUSSIAN OUTPUT FROM A CO2 LASER BY USING A GRADED-PHASE MIRROR RESONATOR" OPTICS LETTERS, vol. 17, no. 10, 15 mai 1992, pages 739-741, XP000268717 * page 739, colonne de droite, ligne 1-5; figure 1 *	1,4
X	US 4 023 117 A (SCHADE WILLIAM J) 10 mai 1977 * figure 2 *	1
X	WO 91 06139 A (AUSTRALIAN ELECTRO OPTICS) 2 mai 1991 * abrégé; figure 1 *	1,4
A	EP 0 514 283 A (FUJITSU LTD) 19 novembre 1992 * figure 4A *	1-9
D,A	MATINAGA F M ET AL: "LOW-THRESHOLD OPERATION OF HEMISPHERICAL MICROCAVITY SINGLE-QUANTUM-WELL LASERS AT 4 K" APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 62, no. 5, 1 février 1993, pages 443-445, XP000335958 * figure 1 *	1-9
D,A	DE 41 35 813 A (TOSHIBA KAWASAKI KK) 7 mai 1992 * le document en entier *	1-9
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 008, no. 243 (E-277), 8 novembre 1984 & JP 59 121985 A (NIPPON DENKI KK), 14 juillet 1984, * abrégé *	1
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
3 juin 1998		Claessen, L
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1  
EPO FORM 1503 03.92 (P4/C13)

